

ボトルネックが連続する区間における渋滞現象の分析^{*1}

An Analysis of Queuing Phenomena in an Intercity Expressway Section with a Range of Bottlenecks^{*1}

稲野 晃^{*2}・中村 英樹^{*3}・内海 泰輔^{*4}

By Akira INANO^{*2}, Hideki NAKAMURA^{*3} and Taisuke UTSUMI^{*4}

1. はじめに

わが国の都市間高速道路では、今なお渋滞が多発しており、それらの現象解明のために多くの研究がなされてきた。しかし、これらの大部分が単独のボトルネック(以下、BNとする)を扱ったものであり、複数連続するBNを一つのBN群(区間)として捉えて分析した研究は限定される。たとえば、野中ら¹⁾は渋滞の発生地点と定着地点を区別し、BNが移動することを追従挙動の観点から明らかにしている。また、大口ら²⁾は連続する2つのBNに着目し、上流の渋滞がその下流の渋滞に与える影響について分析している。このように、複数のBNが存在する場合は、BNが移動したりBN相互で影響しあったりする可能性があり、BNを個別(地点)に分析するだけではなく、BN群(区間)という観点から渋滞現象を明確にすることが重要である。

そこで、本研究では、約10kmの区間にいくつかのサグとJCTの分流部が存在している東名高速下り岡崎IC～豊田JCT間をケーススタディとして取り上げ、複数のBNが連続して存在する場合の渋滞現象について分析することを目的とする。なお、本区間は、図1に示すように2004年12月に伊勢湾岸道と接続したことにより交通の流れが変化し、その結果、特に夕方のピーク時に渋滞が恒常的に発生するようになった。

2. 分析データの概要

本分析には、中日本高速道路株式会社より入手した東名高速下り岡崎IC～豊田JCT間(約10.5km、全区間片側2車線)と豊田JCTランプ部の2006年1箇年分の車両感知器データを使用する。図3に、車両感知器の位置とその周辺の縦断勾配を示す。車両感知器データは交通量、大型車交通量、平均地点速度が車線別に5分単位で記録されたものである。

なお、車両感知器は本線上に約2km間隔で設置されているため、本データによりBNの位置を正確に特定することはできないものの、「渋滞が観測された最下流の車両感知器とそれよりも一つ下流の車両感知器との間にBNが

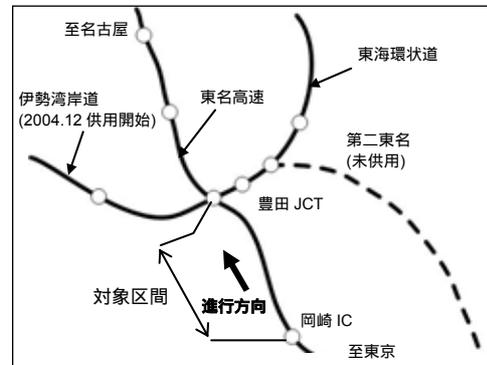


図1 対象区間の概要

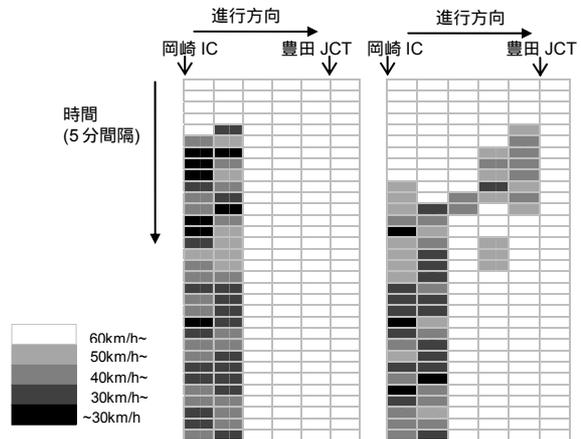


図2 渋滞発生時の速度コンター図

(左：発生地点と定着地点が同じ、右：発生地点と定着地点が異なる)

存在する」ということは把握できる。

3. 渋滞の定義と渋滞の抽出

(1) 渋滞の定義

各車両感知器で観測される交通量 - 速度関係を確認したところ、臨界速度はいずれの地点においてもほぼ60km/hであった。これを参考に、ここでは渋滞判定の閾値を60km/hと設定した。但し、一時的(5～10分間程度)にこの閾値を下回るが、その後すぐに非渋滞状態に回復するケースも存在した。これを渋滞とすることは適当でないと考え、本研究では「平均速度が60km/h以下で、それが15分以上継続した状態」を渋滞と定義した。なお、ここで平均速度とは平均地点速度を指す。

(2) 渋滞現象の抽出

(1)の定義に基づき、図2のような速度コンター図を作成し渋滞現象の抽出を試みた。その際、渋滞が発生した

*1 キーワード: 交通容量, ボトルネック, サグ, 分流部

*2 学生会員, 名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻

*3 正会員, 工博, 名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻

*4 正会員, 修工, 名古屋大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻

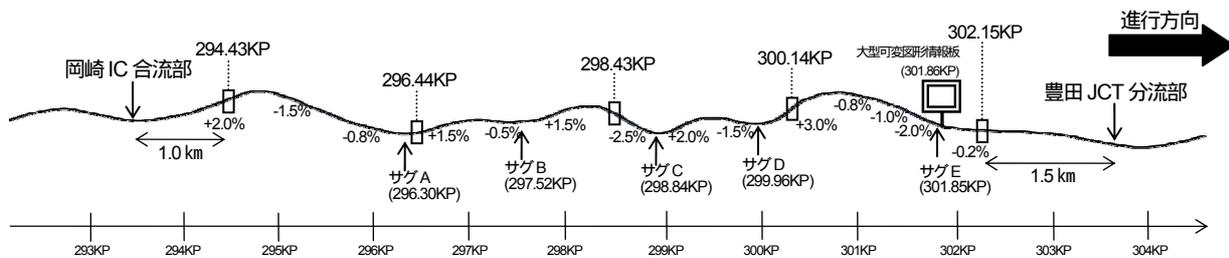


図3 車両感知器の設置位置と縦断勾配

地点からBNが移動しないケース(図2左)だけではなく、渋滞の先頭地点が上下流のBNに移動するケース(図2右)も数多く見受けられた。そこで、最初に走行速度が60km/hを下回った車両感知器地点を「発生地点」(小数点以下を切り捨てたKPで表示、以下同様)、その後渋滞の先頭となった車両感知器地点を「定着地点」と定義し、発生地点/定着地点別に渋滞現象を抽出した。

(3) 抽出結果

その結果、264件の渋滞を抽出することができた(表1)。これより、渋滞の発生/定着地点が異なる複数の渋滞パターンがあることがわかる。

図3に示した縦断勾配や情報板の設置位置などから、各車両感知器で観測される渋滞の原因は、表2のように考えられる。294KP、296KP、298KPの3地点ではサグが原因であり、300KPでは下流301.8~301.9KP付近にある大型可変図形情報板(301.86)とサグE(-2.0% -0.2%)の相互の影響により渋滞が発生すると考えられる。また、302KPでは、豊田JCTの分流部まで渋滞を引き起こす可能性のあるサグや情報板が存在しておらず、分流部が渋滞の原因であると考えられる。実際に渋滞時に現地を走行したところ、分流部直後に渋滞が解消することが確認できた。

発生地点の内訳をみると、294KP(108件)が最も多く、続いて302KP(66件)、296KP(57件)が多いことがわかる。各地点における発生件数のうち、294KPでは約6割(64/108)が下流の296KPに、302KPでは約3割(22/66)が上流の296KPに渋滞の先頭が移動している。一方、296KPでは約9割(52/57)がそのまま296KPに定着している。このように、この区間では、様々な地点で渋滞が発生するが、その多く(151/264)は296KPに定着する。また、296KPに定着しない渋滞を速度カウンター図により確認したところ、その大部分が296KPまで延伸しない渋滞であった。これらのことから、296KPの下流で発生した渋滞が、296KPまで延伸すると296KPに定着するといえる。

なお、294KPで発生し下流の296KPに定着するケースが64件起こっており、非常に特徴的なパターンであるが、本分析で用いた2km間隔で設置されている車両感知器の5分間データでは、実際どのような現象が起きているのか分析することはできなかった。

表1 対象区間で発生した渋滞の抽出結果

		定着地点					計
		294KP	296KP	298KP	300KP	302KP	
発生地点	294KP	42	64	2			108
	296KP	5	52				57
	298KP	4	11	7			22
	300KP	1	2		8		11
	302KP	1	22	4		39	66
計		53	151	13	8	39	264

表2 各車両感知器で観測される渋滞の原因

車両感知器	推測される渋滞の原因
294.43KP	296.30KPのサグA(縦断勾配 -0.8 → +1.5%, 平面線形 A=1200m)
296.44KP	297.52KPのサグB(縦断勾配 -0.5 → +1.5%, 平面線形 A=750m)
298.43KP	298.84KPのサグC(縦断勾配 -2.5 → +2.0%, 平面線形 R=3000m)
	299.96KPのサグD(縦断勾配 -1.5 → +3.0%, 平面線形 A=700m)
300.14KP	301.86KPの大型可変図形情報板
	301.85KPのサグE(縦断勾配 -2.0 → -0.2%, 平面線形 A=700m)
302.15KP	JCTでの分流(サグや情報板などは特に存在しない)

*ここではサグを勾配差+1.5%以上の地点とする。

**平面線形のAはクロノイドパラメータ、Rは曲線半径

4. 交通容量の分析

ここでは交通容量の観点から、各BNの特徴を把握し、BNが連続する区間における渋滞現象について分析する。(1) BNにおける交通容量の定義

越³⁾は、BNにおける交通容量には渋滞発生直前と渋滞発生後の2つの交通流率があり、前者の方が交通流率が高いことを示している。本研究では、前者を「渋滞発生前交通量」とし、渋滞を引き起こす原因となったであろう交通量と位置づける。また、後者は「渋滞発生後捌け交通量」とする。

岡村ら⁴⁾は、渋滞発生前交通量の算出にあたりいくつかの集計方法を比較した結果、渋滞発生時間直前の15分間交通流率が妥当であるとしている。一方、大口ら²⁾は、渋滞開始時とその5分前の交通量を渋滞の原因となった交通量として分析を行っている。どの時間帯の交通量を渋滞発生前交通量とするかはさらなる分析が必要であるが、本研究では大口ら²⁾の研究を参考に、発生地点の渋滞発生直前の5分間交通量を渋滞発生前交通量とする。また、渋滞発生後捌け交通量は、渋滞が定着した地点における定着時間中の交通量の平均値とする。

(2) 渋滞発生前交通量

図4は、地点別の渋滞発生前交通量の分布である。なお、本研究では大型車の乗用車換算係数を1.7とする。

まず分布形を見ると、どの地点においても200～400(pcu/5分)にわたり幅広く分布していることがわかる。これは、渋滞発生前の交通容量は一定ではなく確率的に変動し、渋滞発生確率算出の必要性を指摘した既往研究の知見^{2), 5)}とも一致する。

次に、50件以上の渋滞の発生が観測された294KP、296KP、302KPの最頻値を比べると、302KP(分流部) < 294KP(サグ) < 296KP(サグ)となっており、サグよりも分流部の方が渋滞発生前交通量が低いことがわかる。この理由としては、分流部の上流区間における交通の錯綜や車線利用の偏りにより交通容量が低下していると考えられる。これについては5.で分析する。一方、同じサグであっても296KPより294KPの方が渋滞発生前交通量が低い。この2つのサグは、勾配の変化にほとんど差がなく、平面線形も決して悪いとはいえない。これは、恐らく、大口⁵⁾が指摘しているように切土法面や遮音壁などの視程障害物に起因する道路形状の見通しの良否が原因であると考えられる。

(3) 渋滞発生後捌け交通量

図5は、地点別の渋滞発生後捌け交通量の分布である。この分布形をみると、図4の渋滞発生前交通量の分布に比べ狭い範囲に分布しており、一旦渋滞に陥るとある一定の交通状態になりやすいことがわかる。

次に294KP、296KP、302KPの最頻値を比べると、296KP(サグ) < 302KP(分流部) < 294KP(サグ)となっており、296KPにおける渋滞発生後捌け交通量が最も低いことがわかる。これは、296KPのサグでは一旦渋滞に陥るとドライバーがBNを通過したことを認識しづらく、大きな車間距離を保ったまま十分な加速が行われないことが理由ではないかと推測する。そして、この渋滞発生後捌け交通量の低さが、表1で示したように渋滞が296KPに定着する主な原因であると思われる。

5. 渋滞発生要因の分析

本章では、平日/休日、大型車、車線利用率、分流率といった要因が、渋滞の発生に与える影響について分析する。なお、渋滞の原因により各要因の影響の大きさは異なると考え、ここでは、渋滞の原因が異なる296KP(サグ)と302KP(分流部)の2地点に着目し分析する。

(1) 平日/休日

一般的に、平日と休日ではドライバー特性が異なるため、渋滞現象の特徴も違うと考えられる。表3に平休別の渋滞発生件数と渋滞発生前交通量を整理した。このとき、休日を土曜日、日曜日、祝日、1月1・2・3日、5月3・4・

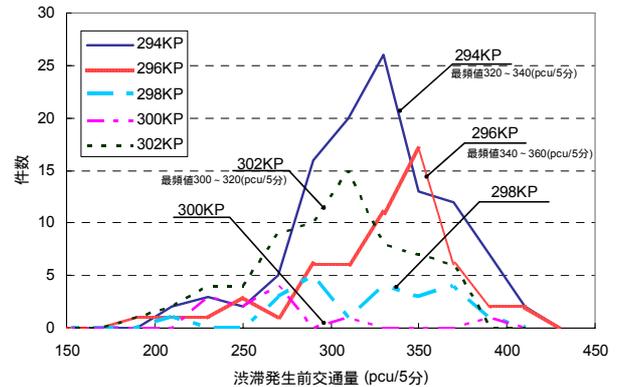


図4 渋滞発生前交通量の分布

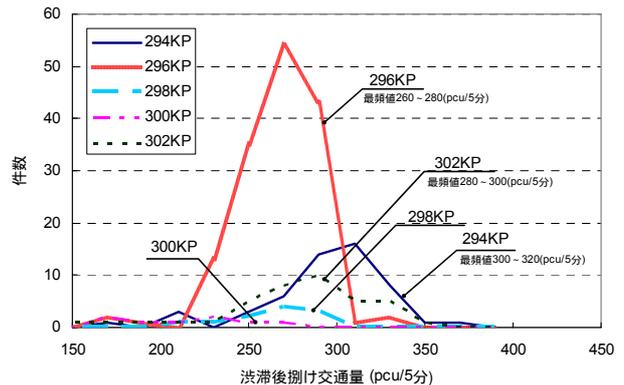


図5 渋滞発生後捌け交通量の分布

表3 平休別の渋滞発生件数と渋滞発生前交通量

		サグ (296KP)	分流部 (302KP)	
平日	発生件数	42	29	
	渋滞発生前交通量 (pcu/5分)	平均	336	308
		標準偏差	46.8	44.3
休日	発生件数	15	37	
	渋滞発生前交通量 (pcu/5分)	平均	301	294
		標準偏差	19.1	40.5

5日、8月14・15・16日、12月31日と定義した。その結果、平日は245日、休日は120日となった。

まず、平日と休日の渋滞発生前交通量を比較すると、サグ、分流部ともに休日の方が渋滞発生前交通量が低いことわかる。これは、運転に不慣れなドライバーが休日に多いためと考えられ、岡村ら⁶⁾の知見とも一致する。

次に、サグと分流部の渋滞発生件数、渋滞発生前交通量を比較する。休日では、分流部の方が渋滞発生前交通量が低く、渋滞発生件数は多い。しかし、平日では、分流部の方が渋滞発生前交通量が低いにも関わらず、渋滞発生件数はサグの方が多くなっており、渋滞発生前交通量の低さが必ずしも渋滞発生件数の多さに繋がるとは言えないことがわかる。これは、渋滞発生前交通量のほかに、分流時の交通の錯綜が渋滞発生に影響しているためではないかと推測される。

(2) 大型車混入率

図6に、大型車混入率と渋滞発生前交通量の関係を示す。なお、縦軸の交通量は、pcuではなく台数である。

大型車混入率が高い場合、分流部よりもサグの方が加速性能の低い大型車の影響を受けやすく、渋滞発生前交

通量が低くなると考えられる。しかし、図5をみれば、必ずしもサグの方が大型車の影響を受けやすいとはいえない。

(3) 車線利用率

図7に、走行車線利用率と渋滞発生前交通量の関係を示す。

サグをみると、走行車線利用率と渋滞発生前交通量との間にほとんど相関がみられず、渋滞発生前の走行車線利用率が概ね40%を中心に分布していることがわかる。

一方、分流部をみると、サグに比べて走行車線利用率が10%程度高くなっている。また、走行車線利用率が高くなると渋滞発生前交通量が低くなる傾向が見受けられる。特に走行車線利用率が50%を超えるとこの傾向が顕著となる。これらのことから、分流部における渋滞は、ドライバーが分岐に備えて事前に走行車線に車線変更するため交通が集中し、走行車線から渋滞が発生すると推測される。

(4) 分流部における分流率

図8に分流部の分流率と渋滞発生前交通量の関係を示す。ここで分流率とは、分岐前の本線上(302KP)の交通量に対する本線から分岐した交通量(ランプ部の交通量)の割合のことを指す。

5.(1), 5.(3)で考察したように、分流部の渋滞の原因が交通の錯綜であるとするならば、分流率が高くなると交通の錯綜が増加し渋滞発生前交通量が低くなると考えられる。しかし、図8からその傾向を読み取ることはできない。これは、交通の錯綜による渋滞発生が一台一台の挙動に起因しているため、5分間の集計データでは確認できなかったためである。

6. おわりに

本研究では、BNが連続する区間として東名高速下り岡崎IC～豊田JCT区間をケーススタディに取り上げ、発生地点と定着地点の観点から渋滞現象を分析し、サグと分流部における渋滞発生要因の比較を行った。その結果、1) 渋滞が発生する地点はいくつかあり、そのときの渋滞発生前交通量も様々であるが、渋滞が定着する地点は渋滞発生後捌け交通量の低いある一定の地点になること、2) サグと分流部では、渋滞の発生に影響する要因やその程度が異なること、が明らかとなった。

また、今回は、車両感知器の5分間データを用いて、巨視的な観点から渋滞現象を分析した。今後は「どのようなときにどこでどのような渋滞が発生するのか」という渋滞発生メカニズムを明らかにするため、さらに集計時間間隔の短い感知器データやビデオデータなどにより、詳細な分析を進めていく予定である。

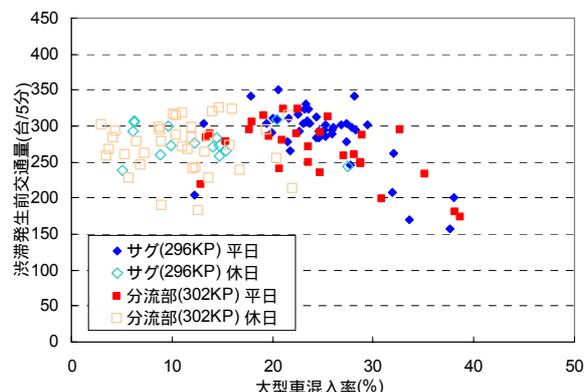


図6 大型車混入率と渋滞発生前交通量

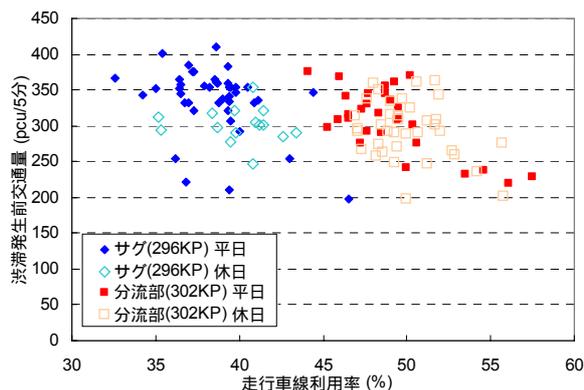


図7 走行車線利用率と渋滞発生前交通量

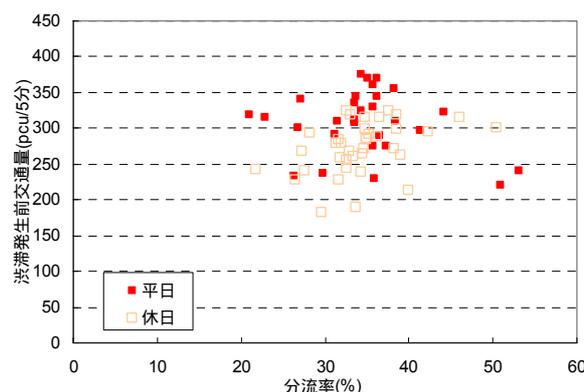


図8 分流率と渋滞発生前交通量(302KP)

参考文献

- 野中康弘・石田貴志・内山久雄：都市間高速道路単路部における渋滞定着要因に関する一考察，土木計画学研究・講演集，vol.26，2002.
- 大口 敬・片倉正彦・鹿田成則・大谷武彦：高速道路単路部渋滞発生時の交通現象解析，土木計画学研究・講演集，No.21(2)，pp905-908，1998.
- 越 正毅：高速道路のボトルネック容量，土木学会論文集，No.371/4-5，pp.1-7，1986.
- 岡村秀樹・渡辺修治・泉 正之：高速道路単路部の交通容量に関する調査研究(上)，高速道路と自動車，第44巻，第2号，pp.31-38，2001.2.
- 大口 敬：高速道路サグにおける渋滞の発生と道路線形との関係，土木学会論文集，No.524/ -29，pp.69-78，1995.10.
- 岡村秀樹・渡辺修治・泉 正之：高速道路単路部の交通容量に関する調査研究(下)，高速道路と自動車，第44巻，第3号，pp.30-40，2001.3.

謝辞

本研究を進めるに際して、貴重なデータを提供していただいた、中日本高速道路株式会社に深謝します。